О МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН[1]

Д. В. Сивухин

Международная система физических величин (СИ) приспособлена для рационального описания далеко не всех физических явлений. В этом отношении она является *шагом назад* по сравнению с гауссовой системой СГС. В механике, в учении о тепловых явлениях и во всех разделах физики, не связанных с учением об электричестве, обе системы принципиально равноправны. Здесь они отличаются друг от друга только масштабами единиц основных физических величин.

Не так обстоит дело в учении об электричестве. Гауссова система СГС есть *абсолютная система*, построенная на трех основных единицах: длины, массы и времени. Включение в эту систему электрических явлений производится посредством закона Кулона. Магнитные единицы вводятся исходя из требования, чтобы напряженности электрического и магнитного полей оказались *одинаковой размерности.* В результате в системе единиц появляется коэффициент, называемый *электродинамической постоянной*, имеющий размерность скорости. Этот коэффициент имеет ясный физический смысл и представляет собой скорость распространения света в вакууме c.

Система СИ — также *абсолютная система*, но в нее введена четвертая,— чисто электрическая,— независимая величина: сила электрического тока. В качестве единицы для силы тока выбран ампер, чисто случайно утвердившийся в практике электрических измерений. Такой путь приводит к включению в систему уравнений электродинамики *двух размерных постоянных.* Этими постоянными в системе СИ являются

$$\varepsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2} \approx 8,854 \cdot 10^{-12}\,\frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 1,256 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{Г}}{\text{м}}$$

Это — искусственно введенные коэффициенты, не имеющие непосредственного физического смысла, которым обладают «настоящие физические величины»: скорость, заряд, напряженности электрического и магнитного полей и пр. К тому же их численные значения трудно запоминаемы и неудобны в практических расчетах. Только комбинация $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ представляет действительно физическую величину, а именно, скорость света в вакууме.

Введение размерных постоянных ε_0 и μ_0 вынуждает различать *уже в вакууме* напряженности электрического и магнитного полей $\mathbf{E}$ и $\mathbf{H}$ и индукции $\mathbf{D}$ и $\mathbf{B}$, связанные между собой соотношениями $\mathbf{D} = \varepsilon_0\mathbf{E}$, $\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H}$. Это противоестественно. Со времени электронной теории Лоренца твердо установлено, что для характеристики электромагнитного поля в вакууме достаточно *одного вектора* $\mathbf{E}$ и *одного вектора* $\mathbf{H}$. Раздвоение электрического поля в вакууме на $\mathbf{E}$ и $\mathbf{D}$, а магнитного на $\mathbf{B}$ и $\mathbf{H}$ является искусственным и ненужным усложнением. Оно возникло в XIX веке в упругой теории эфира, когда считалось, что между эфиром (вакуумом) и обычными материальными средами нет никакой принципиальной разницы. Но такое представление потеряло всякий смысл после того, как было установлено, что никакого механического эфира не существует.

[1]Публикуется по решению Бюро Отделения общей физики и астрономии АН СССР.

Однако именно на этом отжившем представлении в начале нашего века была построена электротехническая система единиц Джорджи, положенная в наше время в основу системы СИ. Величины ε_0 и μ_0 в системе Джорджи (а также первоначально и в системе СИ) так и назывались *диэлектрической* и *магнитной проницаемостями вакуума.* В дальнейшем они были переименованы в «электрическую и магнитную постоянные». Но от изменения названия существо дела не меняется. Величины ε_0 и μ_0 остались попрежнему инородными телами в учении об электричестве и во всей физике. Их введение создает одни только трудности в устном и письменном преподавании, поскольку оно может дать и действительно дает повод для введения неправильных представлений о сущности электрического и магнитного полей.

В материальных средах в системе СИ вводится ненужное раздвоение диэлектрической и магнитной проницаемостей на *относительные* ε и μ и *абсолютные* $\varepsilon_{\text{абс}}$ и $\mu_{\text{абс}}$ Последние являются лишними понятиями.

В системе СИ размерности всех векторов **E**, **D**, **B**, **H** *разные.* Между тем, как это ясно из изложенного выше, уже в дорелятивистской электродинамике ко всякой физически рациональной системе единиц необходимо предъявлять требование, чтобы в ней векторы **E** и **D** имели одинаковую размерность. Размерности векторов **B** и **H** также должны быть одинаковы. Теория относительности усилила это требование. Она показала, что деление электромагнитного поля на электрическое и магнитное *относительно*, т. е. зависит от выбора системы отсчета. Оказалось, что векторы **E** и **B** объединяются в один антисимметричный тензор четвертого ранга, а векторы **D** и **H** — в другой. Поскольку компоненты одного и того же тензора должны иметь одинаковые размерности, после этого стало *почти абсолютной необходимостью*, чтобы имели одинаковые размерности все четыре вектора **E**, **B**, **D** и **H**. Этому требованию система СИ не удовлетворяет. В ней надо вводить *размерные множители* для уравнивания размерностей компонент обоих тензоров. Напротив, гауссова система СГС ему удовлетворяет, хотя она и была создана задолго до теории относительности, когда указанное требование еще не было столь обязательным. В этом отношении система СИ не более логична, чем, скажем, система, в которой длина, ширина и высота предмета измеряются не только различными единицами, но и имеют разные размерности.

При построении системы СИ к ней предъявлялось требование, чтобы результаты вычислений сразу получались в тех единицах, в которых проградуированы существующие измерительные приборы, т. е. в амперах, вольтах и т. д. Спора нет, это очень удобно в практических вычислениях. Однако за это удобство приходится платить дорогой ценой — органическими недостатками системы единиц. А для физика, в том числе и обучающегося студента, на первый план выступает понимание сущности физических явлений, установление связей между ними, система уравнений в наиболее простой и естественной форме, свободная от насильственного внедрения в нее величин типа ε_0, μ_0 и прочего балласта, свойственного системе СИ. Переход же в числовых расчетах от используемых им единиц к практическим амперам, вольтам и т. д., хотя и является мало приятным занятием, не встречает особых затруднений.

Система СИ мало используется при написании научных статей и монографий, при проведении научных семинаров, конференций и школ по физике. Система СИ практически не используется в преподавании теоретической физики. Преподавание даже общей физики в ведущих физических институтах ведется в системе СГС, а во втузах внедрение системы СИ производится, по существу, в принудительном порядке. Причина всего этого, конечно, не в консерватизме и косности физиков, а в *принципиальных недостатках системы СИ.* В целесообразности системы СИ в атомной физике сомневался даже Зоммерфельд, наиболее авторитетный из физиков, по инициативе которого в физику была внедрена система СИ. А что говорить о квантовой электродинамике или физике

элементарных частиц, где система СИ абсолютно неприемлема.

Система СИ, без достаточно убедительной мотивировки, была введена сначала как *предпочтительная* в науке, преподавании и в народном хозяйстве. Наряду с ней, по крайней мере временно, допускались и другие внесистемные единицы, а в физике также и система СГС. Теперь положение изменилось.

На 43-м заседании Постоянной комиссии по стандартизации Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ) утвержден новый стандарт на единицы физических величин СТ СЭВ 1052–78 взамен РС 3472–74. Автором стандарт является делегация СССР в Постоянной Комиссии по стандартизации. В нем, в частности, говорится:

«Стандарт не распространяется на единицы, применяемые в научных исследованиях и публикациях теоретического характера в области естествознания, а также на единицы величин, оцениваемых по условным шкалам».

«1.7. Учебный процесс (включая учебники и учебные пособия) во всех учебных заведениях должен быть основан на применении единиц СИ и единиц, допускаемых к применению в соответствии с пунктами 3.1, 3.2, 3.3».

Система СГС в числе допустимых не значится.

Таким образом, в науке при теоретических исследованиях допускается пользоваться *различными системами единиц*, в том числе и системой СГС, хотя четкое разделение исследований теоретического и нетеоретического характера и не всегда возможно провести. Преподавание же должно вестись *исключительно в системе СИ*. Допустимыми являются учебники, также написанные в этой системе. Эти положения стандарта, хотя они и утверждены, неприемлемы по следующим соображениям.

1. Они увеличивают разрыв между теоретическими и прикладными исследованиями.
2. Они увеличивают разрыв между наукой и ее преподаванием.
3. Исключение из преподавания системы СГС затруднило бы студентам и будущим физикам пользование громадной (и притом лучшей) физической литературой, написанной в системе СГС.
4. Переход преподавания исключительно на систему СИ необычайно усложнил бы преподавание фундаментальных физических дисциплин, к которым система СИ не приспособлена.
5. Такой переход потребовал бы переиздания уже существующей физической литературы с переводом ее на систему СИ. Это не только потребовало бы много времени, но в большинстве случаев только привело бы к ухудшению изложения.

Система СГС должна быть восстановлена в физике и притом не как временная, а как *постоянная*, поскольку ее преимущества над системой СИ с физической точки зрения несомненны. Это относится не только к преподаванию, но и к изданию всякой научной и учебной физической литературы, по крайней мере для физиков. Это относится не только к теоретической, но и к *общей физике*. Современная общая физика является столь же фундаментальной наукой, что и теоретическая физика. Она все более и более становится теоретичной, так что между этими двумя разделами единой физической науки нельзя провести резкой границы. Такое положение с системами единиц должно быть сохранено, по крайней мере до тех пор, пока не будет построена единая система единиц физических величин, свободная от принципиальных недостатков, которыми страдает система СИ.

Изложенное не означает, что система СГС должна быть единственной в физике. Применяемые в ней единицы длины, массы и времени выбраны произвольно. Во многих случаях, сохраняя все достоинства системы СГС, удобнее пользоваться «естественными единицами». Такова, например, система атомных единиц, введенная Хартри. Такова

система единиц, применяемая в квантовой электродинамике, в которой скорость света в вакууме c и постоянная Планка $\hbar$ считаются безразмерными и принимаются равными единице и т. п.

Сделаем еще краткое замечание относительно терминологии. Наш Комитет стандартов часто без всяких на то оснований отменяет установившиеся физические термины, заменяя их новыми, нисколько не лучшими старых. Приведем несколько примеров.

Термин *электрическая индукция* (или вектор электрической индукции) заменен на *электрическое смещение*. В учении же о магнетизме сохранен старый термин *магнитная индукция*. Это нарушает симметрию терминологии в учении об электричестве и магнетизме. К тому же новый термин «электрическое смещение» нисколько не лучше старого «электрическая индукция».

Термин *поляризация* (или вектор поляризации) среды заменен неуклюжим словом *поляризованность*.

Привычные термины «атомный вес» и «молекулярный вес» заменены на «атомную массу» и «молекулярного массу». Новые термины нисколько не лучше старых, так как эти величины *безразмерные*. В пределах справедливости принципа эквивалентности инертной и гравитационной масс (а от этого принципа мы не знаем никаких отступлений) безразмерные «веса» и «массы» — величины тождественные.

Эти примеры можно было бы умножить.